

COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE ELEMENTOS RESISTENTES EM ALVENARIA DE ADOBE

Humberto Varum*, Aníbal Costa, Henrique Pereira, João Almeida

Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Aveiro
3810-193 Aveiro, PORTUGAL
Tel.: +351 234 370938 - Fax: +351 234 370094 - E-mail: hvarum@civil.ua.pt

Tema 2: História, Conservação e Património

Palavras-chave: Elementos estruturais em adobe, Ensaios de caracterização mecânica

RESUMO

Em Portugal e principalmente no distrito de Aveiro a construção em adobe foi uma técnica muito utilizada, passando de geração em geração, até meados do século XX. Actualmente cerca de 25% das construções existentes na cidade de Aveiro são de adobe, estes números sobem para 40% se referidos a todo o distrito. O adobe foi utilizado nas mais diversas construções, desde edifícios rurais, edifícios urbanos de maior porte, muros, poços de água, igrejas e armazéns. De destacar inúmeros edifícios de elevado valor histórico e patrimonial que foram também construídos em adobe, como por exemplo alguns edifícios de estilo *Art Nouveaux*. A reabilitação ou reforço destas construções tem vindo a ser negligenciada. Da falta de sensibilidade para a sua preservação resultou o estado actual de dano estrutural pronunciado e, em muitos casos, o limiar da ruína, no qual se encontram a maioria das construções existentes e que deixa antever, a breve prazo, a entrada em colapso de muitas destas. Para colmatar a falta de informação acerca do comportamento e propriedades mecânicas dos elementos estruturais em adobe, a Universidade de Aveiro tem vindo a desenvolver estudos e ensaios de caracterização deste tipo de material e construção, nomeadamente a realização de levantamentos dimensionais, estudo da composição dos diferentes adobes da região e do seu comportamento mecânico. Foram efectuados ensaios de caracterização mecânica de amostras extraídas de blocos de adobe e de pequenos muretes de alvenaria de adobe. Sobre os muretes realizaram-se ensaios de compressão perpendicular às juntas de assentamento e ensaios de compressão diagonal. Os resultados desta campanha de ensaios servirão para a calibração de modelos numéricos refinados, que representem o comportamento de elementos construtivos de adobe, a serem usados na análise das construções existentes de adobe e no suporte de eventuais intervenções de reabilitação e reforço.

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Em Portugal, a construção em terra, como elemento estrutural, foi usada principalmente no sul e centro litoral. No norte e centro interior, devido à maior abundância da pedra, domina a alvenaria de pedra. A técnica construtiva mais utilizada no sul é a taipa. Relativamente ao adobe, e apesar da sua relevante heterogeneidade, confirmada pelas inúmeras tipologias identificadas, a maioria das construções encontram-se confinadas sobretudo ao centro litoral, nomeadamente no distrito de Aveiro [1, 2].

A deterioração, e em muitos casos abandono, das construções em adobe da região de Aveiro é cada vez mais notável. Encontram-se porém construções inteiramente capazes de cumprir as funções para as quais foram concebidas e construídas, bastando para tal pequenas obras de manutenção e conservação. No entanto, a demolição tem sido a solução mais adoptada para estas construções, ressaltando casos pontuais de reabilitação e reforço por parte de alguns proprietários sensibilizados com a salvaguarda e preservação deste importante património.

A reabilitação destas edificações apresenta dificuldades acrescidas inerentes à falta de informação sobre as propriedades e características do comportamento mecânico do adobe,

sendo necessários estudos técnicos para determinar propriedades como: o módulo de elasticidade, a sua resistência à compressão, tracção e corte ou a sua composição, entre outros.

A caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas em construções existentes, bem como das próprias alvenarias em adobe, são instrumentos fundamentais no apoio aos projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente, e até mesmo em construções novas com recurso a esta técnica construtiva [3].

2. CONSTRUÇÕES EM ADOBE NO DISTRITO DE AVEIRO

A construção em alvenaria resistente de adobe encontra na região de Aveiro a sua maior implantação. Impulsionada em finais do século XIX, teve o seu auge na primeira metade do século XX, vindo a ser gradualmente abandonada nos anos sessenta até ao seu total desaparecimento como técnica construtiva. Segundo dados do município, actualmente, cerca de 25% das construções existentes na cidade de Aveiro são de adobe. Estes números sobem para 40% se referidos a todo o distrito, destacando-se assim a importância deste sistema construtivo no meio rural.

Actualmente, o adobe pode ser encontrado nas mais variadas construções desde edifícios rurais geralmente de pequenas dimensões, a edifícios urbanos de maior porte, passando por muros, poços de água, igrejas e armazéns. Inúmeros edifícios de elevado valor patrimonial foram construídos em adobe, de que são exemplo alguns edifícios em estilo *Art Nouveaux* (Figura 1).

A grande heterogeneidade de dimensões e de constituição do adobe dificulta a caracterização e o estudo das construções em adobe. Regra geral, os blocos de adobe eram realizados com terra arenosa húmida, que depois de amassada e metida em formas, era seca ao sol. Para o melhoramento do seu desempenho mecânico era relativamente frequente a inclusão de cal e, por vezes, de palha. As dimensões correntes do adobe em Aveiro, pese embora a existência de inúmeras tipologias identificadas, variavam, sobretudo, consoante o uso, sendo de aproximadamente 0.45x0.30x0.15m quando utilizados em casas e de 0.45x0.20x0.15m quando utilizados na construção de muros.



Figura 1 - Construções em adobe no distrito de Aveiro.

Em Aveiro inúmeros edifícios existentes, alguns de interesse histórico e cultural, foram construídos com paredes resistentes em adobe, nomeadamente igrejas, antigas fábricas, armazéns e casas de elevado valor arquitectónico. Neste último grupo incluem-se construções em estilo *Art Nouveaux*, cuja influência marcou fortemente a cidade de Aveiro.

Este movimento artístico surge por volta de 1880 e afirma-se pelo seu carácter ornamental. A *Art Nouveaux* caracteriza-se por uma decoração de linhas curvas, por emblemas específicos cuja fonte de inspiração é a natureza, reflectindo-se nos azulejos de fachada e interiores, nos gradeamentos de ferro forjado, nas molduras de portas e janelas (exemplos na Figura 2).



Figura 2 – Exemplos de edifícios em *Art Nouveaux* com paredes resistentes em adobe e elementos decorativos em pedra nas fachadas.

3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Foram desenvolvidos ensaios para obter informação sobre o comportamento e propriedades mecânicas do adobe da região. Efectuaram-se trabalhos de caracterização mecânica de amostras de blocos de adobe, de argamassas de junta e de reboco, e de pequenos muretes construídos com materiais representativos dos encontrados nas construções existentes. Com o objectivo de caracterizar a resistência ao corte e à compressão das paredes de alvenaria de adobe foram construídos 13 muretes com 17×17×10cm e ensaiados à compressão diagonal e perpendicular às juntas de assentamento.

3.1 Selecção e nomenclatura das amostras

Dada a enorme heterogeneidade do adobe existente na região, tentou-se seleccionar um conjunto de amostras representativas das suas tipologias. Para tal, foram recolhidas amostras de adobes de casas e muros em distintos locais de forma a caracterizá-lo o mais amplamente possível. Para facilitar a identificação dos provetes de adobe e dos muretes construídos, estes foram numerados e seriados, segundo a sua proveniência, diferenciando, respectivamente, amostras de casas (*H*) e muros (*W*).

Para os provetes de adobe adoptou-se a notação: H_i_j e W_i_j , onde o índice *i* representa o número da obra, e o índice *j*, representa o número do carote extraído. Para os ensaios sobre os muretes foi adoptada a mesma notação, mas substituindo o índice *j* por

$w_j p$ ou $w_j d$ conforme se trate de um ensaio de compressão perpendicular às juntas ou de compressão diagonal.

3.2 Ensaio de compressão simples de provetes de adobe

Das amostras de adobe recolhidas foram retirados carotes cilíndricos com diâmetro compreendido entre 70 e 90mm. Sobre as carotes extraídas, com altura aproximadamente igual ao dobro do diâmetro, procedeu-se à regularização das suas faces de topo, de forma a estas ficarem perfeitamente perpendiculares ao seu eixo, melhorando o contacto com os pratos da prensa de ensaios.

Os provetes cilíndricos foram submetidos a ensaios de compressão simples a fim de determinar a resistência mecânica dos elementos de adobe. A descrição detalhada dos resultados destes ensaios sobre provetes de adobe pode ser encontrada em [4, 5]. Na Secção 3.5 serão apresentados sumariamente os resultados mais relevantes para a caracterização do comportamento mecânico do adobe.

3.3 Ensaio de compressão de argamassas de assentamento

Foram realizados ensaios de compressão sobre provetes de argamassa de assentamento recolhidas em construções existentes. Na construção dos muretes recorreu-se a uma argamassa formulada em laboratório, usando como ligante a cal aérea para que estas representassem com rigor as argamassas usadas nas construções da região.

Os provetes de argamassa retirados de construções, com dimensões aproximadamente de 4x4cm e espessura semelhante à da junta original, foram ensaiados à compressão simples. Por sua vez, os provetes das argamassas formuladas, prismas com dimensões de 16x4x4cm, foram ensaiados inicialmente à flexão e com as duas metades resultantes deste ensaio foram executados ensaios de compressão simples.

Dos ensaios realizados às argamassas formuladas obteve-se um valor médio de resistência à compressão de 1.42MPa. Para as amostras de argamassa recolhidas em diversas construções existentes foram obtidos valores médios de resistência semelhantes, tendo-se verificado, no entanto, uma maior variabilidade.

3.4 Ensaio de compressão simples e diagonal sobre muretes

Com o objectivo de determinar a resistência ao corte e compressão das paredes tradicionais de alvenaria de adobe foram realizados 13 muretes com 17x17x10cm e ensaiados à compressão perpendicular às juntas de assentamento e à compressão diagonal (Figura 3).

Para facilitar a realização dos ensaios optou-se pela execução de muretes a uma escala reduzida. Para tal, extraiu-se a partir de blocos originais de construções existentes pequenos blocos rectangulares com dimensões 17x10x5cm.

Os muretes foram construídos utilizando uma argamassa com composição análoga à usada tradicionalmente e com juntas de espessura proporcional às juntas nas construções existentes (aproximadamente 1cm), considerando o efeito de redução de escala. Os elementos de adobe foram dispostos em três fiadas horizontais, sendo as fiadas superior e inferior constituídas por um bloco inteiro, com as dimensões de 17x10x5cm, e a fiada intermédia realizada com duas metades e uma junta vertical (ver Figura 3).

Foram utilizados elementos de adobe retirados de três edificações distintas (Casa 5, Casa 10, e Muro 10), tendo sido estes caracterizados ao nível de resistência à compressão simples. Os principais resultados da caracterização dos adobes são sumariamente apresentados na Secção 3.5.

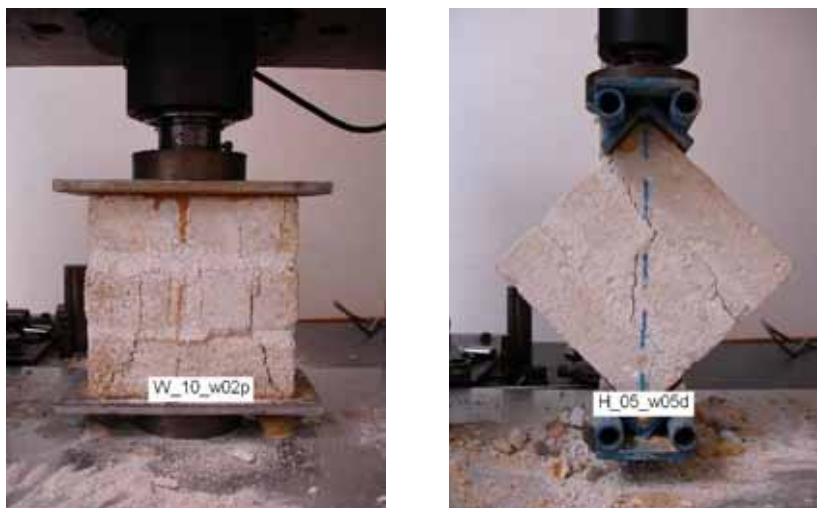


Figura 3 – Muretes: ensaio de compressão perpendicular às juntas de assentamento e ensaios de compressão diagonal.

Das curvas força-deformação obtidas através de ensaios de compressão diagonal, pode-se estimar a tensão de rotura em corte e o módulo de elasticidade transversal de cada murete, de acordo com as recomendações do RILEM [6].

A tensão de rotura (S_s) devido ao corte é calculada, para cada murete, tendo por base a seguinte expressão:

$$S_s = \frac{0.707 \cdot P}{A_n}$$

onde P representa a força de rotura e A_n representa a área efectiva de corte, sendo determinada por:

$$A_n = \frac{l + h}{2} \cdot t \cdot n$$

onde l e h representam a largura e a altura do murete, t representa a sua espessura e n a fracção de área maciça do murete (neste caso $n = 1$, pois os blocos de adobe são maciços).

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de compressão sobre os muretes são apresentados e discutidos na Secção 3.5.

3.5 Análise e interpretação dos resultados

Na Tabela 1 apresentam-se os principais resultados dos ensaios realizados sobre elementos de adobe, e sobre os muretes.

Os ensaios de compressão perpendicular às juntas de assentamento sobre os muretes mostram valores de resistência à compressão que varia entre 0.86 e 1.33MPa. Salienta-se que a argamassa usada nas juntas possui uma resistência à compressão média de 1.42MPa. Para os blocos de adobe (provetes cilíndricos ensaiados à compressão simples) obtiveram-se valores de resistência à compressão entre 0.99 e 2.15MPa. Analisando os resultados para cada construção, verifica-se uma notável correlação entre a resistência à compressão do adobe e dos muretes correspondentes.

Relativamente aos ensaios de corte obtiveram-se valores para a tensão resistente que varia entre 0.05 e 0.19MPa. Pode-se ainda verificar que para os muretes constituídos por adobe de menor resistência à compressão obteve-se uma menor resistência ao corte.

O módulo de elasticidade transversal e a resistência ao corte, para cada série de muretes ensaiada, é cerca de 1/10 dos correspondentes módulo de elasticidade e resistência à compressão avaliados nos ensaios de compressão perpendicular às juntas.

Os valores obtidos em cada ensaio de compressão perpendicular às juntas de assentamento e em cada ensaio de compressão diagonal são apresentados na Tabela 1. Na Figura 4 são apresentados gráficos com as curvas de comportamento obtidas nos ensaios de compressão (diagonal e perpendicular às juntas) dos muretes. No gráfico correspondente aos ensaios de compressão perpendicular às juntas, sobrepõem-se ainda o valor da tensão de rotura do adobe utilizado.

Tabela 1 – Principais resultados dos ensaios de caracterização mecânica do adobe e dos muretes.

| Amostra | | Módulo de Elasticidade (MPa) | Resistência à Compressão (MPa) | Módulo de Elasticidade Transversal (MPa) | Resistência ao Corte (MPa) | Deformação para a resistência máxima (mm/mm) |
|----------|-----------------|------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|--|
| House 5 | H_05_01 | 630 | 3.07 | -- | -- | 0.011 |
| | H_05_02 | 640 | 2.96 | -- | -- | 0.015 |
| | H_05_03 | 450 | 3.00 | -- | -- | 0.019 |
| | H_05_04 | 650 | 2.86 | -- | -- | 0.012 |
| | H_05_05 | 315 | 1.53 | -- | -- | 0.015 |
| | H_05_06 | 315 | 1.31 | -- | -- | 0.011 |
| | H_05_07 | 380 | 1.36 | -- | -- | 0.012 |
| | H_05_08 | 200 | 1.13 | -- | -- | 0.021 |
| | Média | 448 | 2.15 | -- | -- | 0.015 |
| | perp. H_05_w01p | 170 | 1.02 | -- | -- | 0.017 |
| | H_05_w02p | 200 | 1.57 | -- | -- | 0.016 |
| | H_05_w03d | -- | -- | 47 | 0.17 | 0.004 |
| | diag. H_05_w04d | -- | -- | 57 | 0.17 | 0.003 |
| | H_05_w05d | -- | -- | 55 | 0.19 | 0.005 |
| | Média | 185 | 1.30 | 53 | 0.18 | -- |
| House 10 | H_10_01 | 375 | 2.20 | -- | -- | 0.008 |
| | H_10_02 | 590 | 3.01 | -- | -- | 0.007 |
| | H_10_03 | 210 | 1.61 | -- | -- | 0.009 |
| | H_10_04 | 350 | 1.89 | -- | -- | 0.008 |
| | H_10_05 | 220 | 1.46 | -- | -- | 0.011 |
| | H_10_06 | 270 | 1.74 | -- | -- | 0.009 |
| | Média | 336 | 1.99 | -- | -- | 0.009 |
| | perp. H_10_w01p | 200 | 1.33 | -- | -- | 0.08 |
| | H_10_w02d | -- | -- | 25 | 0.07 | 0.004 |
| | diag. H_10_w03d | -- | -- | 30 | 0.11 | 0.007 |
| | Média | 200 | 1.33 | 28 | 0.09 | -- |
| Wall 10 | W_10_01 | 123 | 0.88 | -- | -- | 0.019 |
| | W_10_02 | 195 | 1.01 | -- | -- | 0.008 |
| | W_10_03 | 160 | 0.99 | -- | -- | 0.014 |
| | W_10_04 | 210 | 1.28 | -- | -- | 0.012 |
| | W_10_05 | 115 | 0.81 | -- | -- | 0.013 |
| | Média | 161 | 0.99 | -- | -- | 0.013 |
| | perp. W_10_w01p | 95 | 0.77 | -- | -- | 0.016 |
| | W_10_w02p | 250 | 0.95 | -- | -- | 0.015 |
| | W_10_w03d | -- | -- | 25 | 0.06 | 0.006 |
| | diag. W_10_w04d | -- | -- | 15 | 0.05 | 0.006 |
| | W_10_w05d | -- | -- | 10 | 0.05 | 0.011 |
| | Média | 173 | 0.86 | 15 | 0.05 | -- |

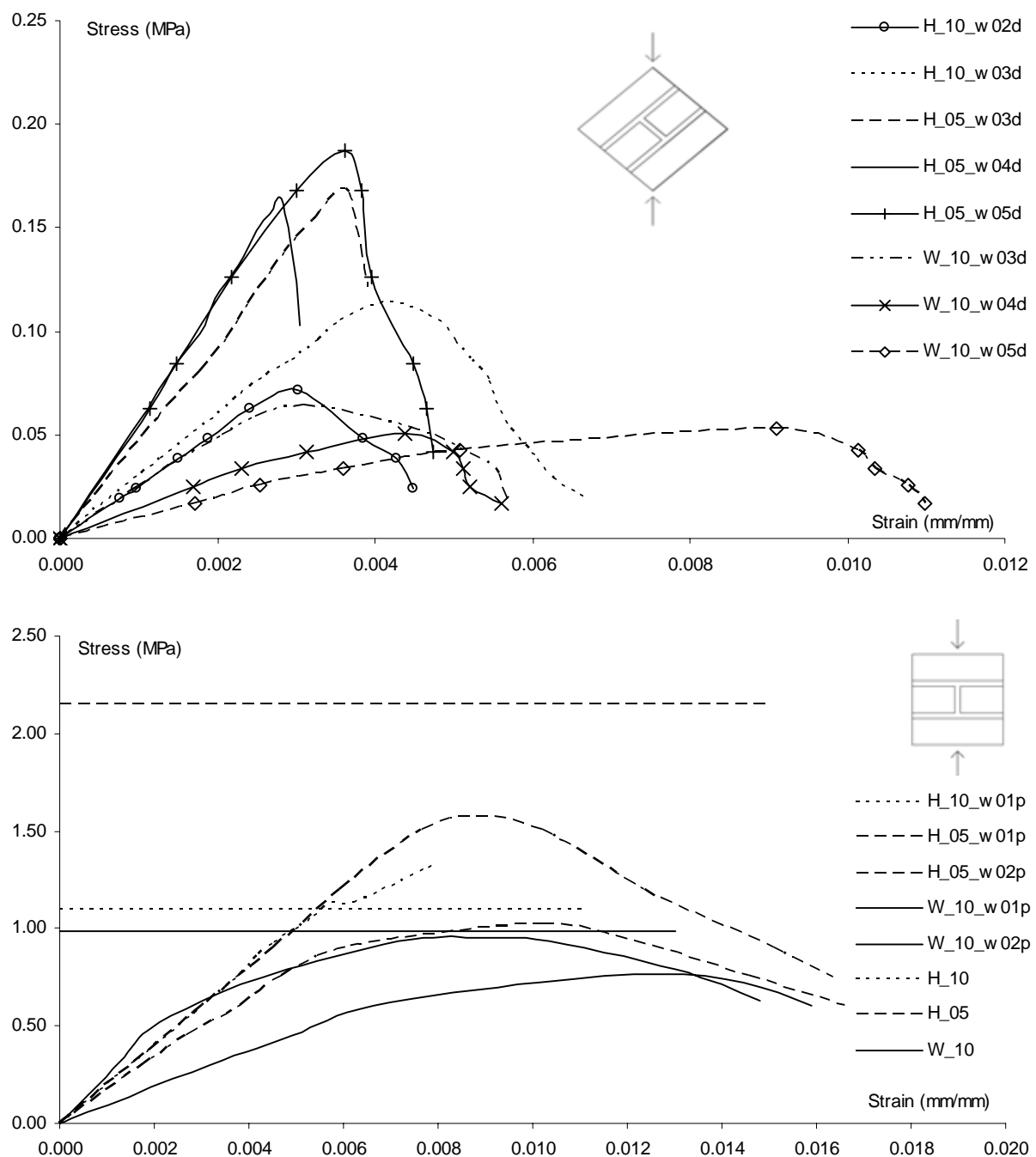


Figura 4 – Curvas de comportamento obtidas nos ensaios dos muretes: a) compressão diagonal; b) compressão perpendicular às juntas de assentamento (com indicação da tensão de rotura em compressão do adobe utilizado).

Agradecimentos

Os autores agradecem à engenheira Conceição Costa do Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro por todo o apoio dado na execução dos ensaios, e à empresa CIVILRIA Construções SA pelo transporte dos blocos de adobe para o laboratório.

Referências bibliográficas

- [1] VEIGA OLIVEIRA, E.; GALHANO, F. *Arquitectura Tradicional Portuguesa*. Portugal de Perto Publicações D. Quixote. Portugal. 1992.
- [2] Seminário. *Arquitecturas de Terra*. Museu Monográfico de Conímbriga. Ed CCRCentro. Portugal. 1992.
- [3] HERNANDEZ, R.S.; Barrios, M.S.; POZAS, J.M.M. *Characterization of ancient construction materials (mud walls and adobe) in the Churches of Cisneros, Villada and Boada de Campos (Palencia)*. *Materiales de Construcción* Vol. 50. n.º 257. 2000. pp. 33-45.
- [4] VARUM, H.; MARTINS, T.; VELOSA, A. *Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro*. IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, 8 a 10 de Outubro de 2005.
- [5] VARUM, H.; COSTA, A.; PEREIRA, H.; ALMEIDA, J. *Ensaio de caracterização do comportamento estrutural de construções existentes em adobe*. V SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con tierra, Mendoza, Argentina, 14 al 17 de junio de 2006.
- [6] RILEM *Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials*. E&FN Spon. UK. 1994.

Currículo resumido dos autores

Humberto Varum

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Principais interesses de investigação no âmbito da avaliação, reabilitação e reforço das construções existentes e da engenharia sísmica. É membro de várias associações científicas nacionais e internacionais.

Aníbal Costa

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Desenvolve a sua actividade científica na Área da Reabilitação e Reforço das Estruturas e Engenharia Sísmica. Fundador do NCREP (Núcleo de Conservação e Reabilitação de Edifícios e Património), integrado na Secção de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da FEUP. Vice-Presidente da SPES (Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica).

Henrique Pereira

Engenheiro Civil pela Universidade de Aveiro. Principais interesses de investigação: Avaliação, conservação e reabilitação das construções existentes; Construções em terra. Estágio na Câmara Municipal de Aveiro, onde acompanham as obras de reabilitação da Casa Major Pessoa (Arte Nova).

João Almeida

Engenheiro Civil pela Universidade de Aveiro. Principais interesses de investigação: Avaliação, conservação e reabilitação das construções existentes; Construções em terra. Estágio na Câmara Municipal de Aveiro, onde acompanham as obras de reabilitação da Casa Major Pessoa (Arte Nova).